Untersuchungen über den Kältetod der Pflanzen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Philosophischen Doktorwürde

vorgelegt

der Hohen Philosophischen Fakultät
Halle-Wittenberg

von

Richard Rein
aus Runstedt (Kreis Merseburg).

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Halle a. S. 1908.

Referent: Prof. Dr. Klebs, Geh. Hofrat.

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juli 1907.

Meinen Eltern

in herzlicher Dankbarkeit gewidmet.

Vorliegende Arbeit wurde angefertigt auf Anregung und unter Leitung des Herrn Prof. Dr. Mez, der mir auch seine eigenen Apparate zum Experimentieren freundlichst überließ; es sei mir gestattet, für die mir zuteil gewordene liebenswürdige Unterstützung auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Einleitung.

In seiner Arbeit „Untersuchungen über das Erfrieren der Kartoffel“ hat Apelt[1]) die grundlegenden Sätze, mit welchen Mez[2]) die physikalische Erfriertheorie bekämpft hat, bestätigt. Er hat das klassische Objekt, auf dessen Verhalten hauptsächlich Müller-Thurgau[3]) und Molisch[4]) ihre Theorie über den Kältetod der Pflanzen begründet hatten, mit den Hilfsmitteln der feinsten galvanometrischen Temperaturmessungen von neuem untersucht und auch an diesem Objekt festgestellt, daß sich zwischen dem Gefrierpunkt und Erfrierpunkt der Kartoffel ein zwar kleines, aber doch mit feinen Meßinstrumenten stets deutlich und unzweideutig nachweisbares Intervall befindet. Damit sind der Theorie, welche die Ursache des Kältetodes in der Austrocknung des Protoplasten sieht, weitere Stützen entzogen und es bleiben nur noch sehr wenige Objekte, mit welchen die Begründer derselben experimentiert haben und deren Verhalten noch nicht nachgeprüft worden ist.

---

[1]) Apelt: „Neue Untersuchungen über das Erfrieren der Kartoffel“ in Cohns Beitr. 1907.

[2]) Mez: „Neue Untersuchungen über das Erfrieren eisbeständiger Pflanzen“. Flora 1905, 94. Bd., 1. Heft, S. 90.

[3]) Müller-Thurgau in Landwirtschaftl. Jahrbücher XV (1886), S. 534—536.

[4]) H. Molisch: Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen (Jena 1897).

In seiner zitierten Arbeit hat Apelt weiter eine ganze Anzahl von anderen sowohl für die Theorie des Erfrierens der Pflanzen wie auch für die allgemeinen Kenntnisse vom Protoplasma wichtigen Resultaten erzielt, welche an einer größeren Anzahl von anderen Objekten nachzuprüfen von Wichtigkeit war.

Insbesondere handelt es sich hier um die Beziehungen, welche zwischen der auf ein Objekt längere Zeit einwirkenden Außentemperatur und den Erfrierpunkten desselben bestehen.

Apelt[1]) hat die von Göppert[2]) bereits im Rohen angedeuteten, von Müller-Thurgau[3]) gleichfalls gefundenen, aber in ihrer Bedeutung nicht erkannten Beziehungen zwischen Außentemperatur und Erfrierpunkt in der Weise zu fixieren vermocht, daß er nachwies, daß bei der Kartoffel länger einwirkender hoher Außentemperatur ein hoch gelegener, tiefer Außentemperatur ein tiefer Erfrierpunkt entspricht.

Auch hat er gezeigt, daß das Steigenlassen und Fallen des Erfrierpunktes mit demselben Objekt beliebig wiederholt werden kann, sowie daß die Pflanze relativ rasch auf die Einwirkung der Außenwelt reagiert.

In einem Erklärungsversuch, dessen hypothetischen Charakter Apelt in Anbetracht des engbegrenzten Materials, welches er untersuchte, selbst hervorhebt, ist es zur Anschauung gekommen[4]), daß möglicherweise in dem Ernährungszustand des Protoplasmas der Kartoffel die Ursache für diese verschieden hohen Todespunkte bei verschiedenen Lagerungstemperaturen zu suchen sei.

Im weiteren Verlauf seiner Arbeit wurden ferner die Fragen in Angriff genommen, ob osmotischer Druck, Menge des Zellsaftes und Größe der Zellen bei der Kartoffel

[1]) Apelt: l. c. S. 25.

[2]) Göppert: Die Wärmeentwicklung in der Pflanze. S. 63. Breslau 1830.

[3]) Müller-Thurgau: l. c. XV. 1886, S. 538 ff.

[4]) Apelt: l. c. S. 58—60.

irgendwelchen Einfluß auf die Höhe des Erfrierpunktes besitzt. Apelt[1]) ist zu dem Resultat gekommen, daß dies nicht der Fall ist, sondern daß für die Verhältnisse allein die unbekannte Konstitution des Protoplasmas bestimmend sei.

Eine Erweiterung und Vertiefung dieser Untersuchungen war wünschenswert. Es war zu hoffen, daß die Resultate, welche die Untersuchungen ein und desselben Objektes, nämlich der Kartoffel, geboten hatten, wesentlich schärfer und für die Theorie des Erfrierens der Pflanzen klarer hervortreten würden, wenn eine größere Anzahl von Objekten aus dem Gewächsreich, und zwar nicht nur Phanerogame, sondern auch Kryptogame, zur Untersuchung dieser Fragen kamen.

An sich ist nun durch die Untersuchungen von Mez und Apelt erreicht, daß die physikalische Erfriertheorie, d. h. die Theorie, welche die Ursachen des Kältetodes in der Austrocknung der Protoplasten sieht, nicht mehr im Vordergrunde der Diskussion steht.

Dagegen sind die Fragen nach dem Einfluß des osmotischen Druckes, der Zellsaftmenge und der Zellgröße von anderen Autoren nur gestreift worden und eine klare Formulierung derselben hat erst in der zitierten Arbeit von Apelt[2]) stattgefunden. Wenn mein Vorgänger hier auch zu negativen Resultaten gekommen ist, so können diese doch nicht als beweisend bezeichnet werden, da die Möglichkeit vorhanden war, daß die Kartoffel vielleicht ein zur Untersuchung ungeeignetes Objekt darstellt. Bezüglich der Differentiation von Gefrierpunkt und Erfrierpunkt ist sie dies ja in hohem Maße.

Ich habe deswegen von Herrn Professor Mez die Aufgabe erhalten, eine größere Anzahl von Pflanzen daraufhin zu untersuchen, wie sich bei ihnen osmotischer

[1]) Apelt: l. c. S. 37.

[2]) Apelt: l. c. S. 12.

Druck in den Zellen und Erfrierpunkt zueinander verhalten.

Diese Frage ist um so interessanter, als sie nicht allein die Austrocknungstheorie des Erfrierens betrifft, sondern auch sich aufdrängt, wenn man die von PICTET[1]) und anderen festgestellten und außerordentlich tiefen Erfrierpunkte niedrigster Lebewesen, insbesondere der Bakterien, ins Auge faßt. Daß diese Lebewesen ein, wie FISCHER[2]) gezeigt hat, gegen andere Pflanzen stark abweichendes osmotisches Verhalten und zugleich großen Widerstand gegen Kälte zeigen, könnte vielleicht mehr als rein zufälliges Zusammentreffen sein. Und zwar werden diese Vermutungen aufs wesentlichste bestärkt dadurch, daß überhaupt, insbesondere von PFEFFER[3]) osmotischer Druck und Erfrierpunkt in Beziehung gesetzt wurden.

Meine Aufgabe bestand darin, zu untersuchen, ob bei Zuhilfenahme vieler und verschiedener Gewächse irgend welche Beziehungen, insbesondere irgend ein Gleichlaufen der osmotischen Drucke und der zugehörigen Erfrierpunkte bemerkbar sei.

Ich bin, um meine Resultate in kurzem hier bereits zu skizzieren, zu demselben Ergebnis gelangt, welches APELT bei der Kartoffel erlangt hatte, daß nämlich der Erfrierpunkt mit dem osmotischen Druck in den Zellen in keiner Weise etwas zu tun hat.

Bezüglich der Zellgröße war es, von der Austrocknungstheorie des Kältetodes ausgehend, gleichfalls PFEFFER[4]), welcher angedeutet hat, daß die enorme Kälteresistenz der Bakterien vielleicht mit ihrer Kleinheit

[1]) Pictet: in Arch. sc. phys. nat. Genève 3 ser. XXX, 1893, S. 311.

[2]) A. Fischer: Zeitschrift f. Hygiene in Infektionskrankheiten, 1900, Bd. 35, S. 1.

[3]) Pfeffer: Pflanzenphysiologie, Leipzig 1904, S. 314—316.

[4]) Pfeffer: l. c. S. 313.

etwas zu tun habe, insofern, als bei ihnen der Zellsaft wesentlich in adsorbiertem Zustande vorhanden ist.

Nun ist aber Apelt[1]) bei der Kartoffel zu dem Ergebnis gelangt, daß Zellgröße und Erfrierpunkt voneinander unabhängig sind, und ich habe dies Resultat bei der Untersuchung einer großen Menge von verschiedenartigen Objekten bestätigen können.

Die wesentlichste Aufgabe, welche mir für meine Untersuchungen von Herrn Professor Mez gestellt wurde, bestand aber darin, zu untersuchen, ob die Eigenschaft, den Erfrierpunkt je nach der einwirkenden Außentemperatur zu erhöhen oder zu erniedrigen, eine allgemeine primäre Eigenschaft des Protoplasmas aller Pflanzen darstellt, oder ob dieselbe von einem Teil der Pflanzen erworben ist. Zu diesem Zweck hatte ich Pflanzen verschiedener Klimate zu untersuchen und fand, wie im folgenden darzustellen sein wird, daß eine genaue Abhängigkeit der Anpassungsfähigkeit von dem im Heimatlande der Pflanze herrschenden Klima vorhanden ist, derart, daß ich bei echt tropischen Pflanzen niemals, bei allen Pflanzen der kalten und gemäßigten Zone dagegen stets die Variationsfähigkeit der Erfrierpunkte nachweisen konnte.

Als nebenbei gewonnene Resultate meiner Untersuchungen erwähne ich hier, daß ich auch die übrigen für die Austrocknungstheorie des Erfrierens grundlegend wichtigen Objekte, insbesondere Algen nachuntersucht habe und auch bei ihnen fand, daß Gefrierpunkt und Erfrierpunkt nicht nur nicht zusammenfallen, sondern vielfach sehr differieren, sowie daß es nach meinen Untersuchungen zweifelhaft erscheint, ob überhaupt ein Erfrieren von Pflanzen selbst der wärmsten Klimate über dem Eispunkt, ja sogar über — 2° stattfindet.

Bei meinen Untersuchungen bediente ich mich des von Mez[2]) und Apelt[3]) benutzten Galvanometers nach

[1]) Apelt: l. c. S. 53.
[2]) Mez: l. c. S. 96.
[3]) Apelt: l. c. S. 8.

Deprez d'Arsonval und der von Apelt verwendeten Thermonadel, bei welcher mehrfach periodisch vorgenommene Nachprüfungen den konstanten Wert von 0,0685° pro Teilstrich ergaben.

Allen Untersuchungen lag die genaue Bestimmung der Erfrierpunkte der betreffenden Untersuchungsobjekte zu Grunde. Dieselben wurden in der Weise bestimmt, daß sie durch Annäherung von oben und unten eingeengt und schließlich nach Feststellung der genannten Lage jeweils durch mehrere Untersuchungen nachgeprüft wurden.

Zur Feststellung des Lebens- und Todeszustandes bediente ich mich ausschließlich der osmotischen Methode mit Kalisalpeter. Eine Färbung der osmotischen Flüssigkeit durch Methylenblau, wie sie Apelt[1]) vorgenommen hat, um das Eintreten der Plasmolyse klarer zu sehen, erwies sich, da unter meinen Objekten keine solche waren, deren Zellen so prall mit Stärke gefüllt sind, wie dies bei der Kartoffel der Fall ist, nicht als notwendig.

An Stelle des von Mez[2]) und Apelt[3]) angewendeten Kältegemisches aus Eis und Kochsalz habe ich bei allen meinen Untersuchungen feste Kohlensäure verwendet und kann diese Art der Manipulation als einfach und praktisch empfehlen.

Es ist selbstverständlich, daß bei Anwendung der festen Kohlensäure für die Isolation etwas geänderte Methoden geschaffen werden müssen, als dies bei Anwendung einer keine tiefen Grade erreichenden Kältemischung notwendig ist.

Als zweckmäßige Isolation habe ich diejenige gewählt, die durch doppelte Luftschichten erreicht wird in der Weise, daß ich das zu untersuchende Objekt in einem engen Reagensglas an die Thermonadel aufspießte, daß ich dieses Reagensglas, nur oben durch einen Kork ver-

[1]) Apelt: l. c. S. 10—11.
[2]) Mez: l. c. S. 96.
[3]) Apelt: l. c. S. 9.

bunden, in ein weiteres Reagensglas brachte und erst auf letzteres von außen die niedrigen Temperaturen einwirken ließ.

Bei dieser Versuchsanordnung gelingt es bei einiger Übung auch bei Anwendung von Kohlensäure den Temperaturabfall derart in der Hand zu behalten, daß man bis auf den Galvanometerteilstrich genau eine bestimmte Temperatur erreicht.

Nur darf die Kohlensäure nicht direkt in fester Form verwendet werden, sondern der Kohlensäureschnee muß portionenweise vorsichtig eingetragen zur Abkühlung einer das äußere Isoliergefäß umgebenden Flüssigkeit verwendet werden. Als solche benutzte ich absoluten Alkohol.

Der Gang der jeweiligen Bestimmung war also der, daß das Objekt an der Thermonadel, in den beiden isolierenden Lufthüllen montiert, in ein Becherglas mit absolutem Alkohol versenkt wurde und in diesem nun vorsichtig portionsweise der Kohlensäureschnee eingetragen wurde. Es gelingt natürlich nicht, die äußere Flüssigkeit genau auf diejenige Temperatur zu bringen, bis zu welcher man das Objekt abzukülen wünscht, wohl aber ist es bei genügender Übung möglich, durch rasches Herausziehen des Apparats aus dem kalten Alkohol, eventuell auch durch nachfolgendes Eintauchen in kaltes Wasser genau die gewünschte Temperatur geben.

I.

Über die verschiedenen Arten des Kältetodes.

Bevor ich in die Schilderung meiner Versuche und der bei ihnen erreichten Resultate eintrete, habe ich mich zunächst mit den verschiedenen Arten des Kältetodes zu beschäftigen.

Schon H. Müller-Thurgau und ebenso Molisch erkannten, daß das Eingehen der Pflanzen durch Kälte auf zweierlei Weise möglich sei. Entweder wird die Pflanze so stark abgekühlt, daß Eisbildung in den Zellen erfolgt,

und wird dann, nach Molisch, durch Wasserentzug getötet, wobei das Absterben bei Erreichung der Todestemperatur momentan, an allen Teilen zugleich eintritt, oder die Pflanze wird bei einer Temperatur über Null Grad gehalten und geht infolge von Störungen im Getriebe des Stoffwechsels oder durch Verwelken zugrunde, wobei der Tod nicht plötzlich eintritt, sondern erst nach Stunden oder Tagen als Ende einer Erkältungskrankheit. Während Müller-Thurgau nur die erste Todesart als „Erfrieren" definiert, dehnt Molisch die Bezeichnung auf das Absterben über Null Grad aus. Da beide Todesarten prinzipiell verschieden sind und das Kränkeln und Eingehen einer Pflanze bei einer Temperatur über Null Grad für die Theorie des Erfrierens keine Bedeutung hat, definiert Mez das Erfrieren als den Kältetod, welcher durch Überschreiten des spezifischen Minimums nach unten eintritt. Dieser Definition von Mez schließe ich mich an und meine, wenn ich im folgenden von Kältetod spreche, stets den Kältetod, der plötzlich, durch einmaliges Überschreiten der minimalen Temperatur eintritt.

Zur weiteren Klärung des Unterschiedes beider Kältetodesarten war es von Interesse, zu untersuchen, bei welcher Temperatur die von Molisch eingeführten über Null Grad infolge Erkältung eingehenden Objekte den Kältetod durch Überschreiten des spezifischen Minimums erleiden. Diese Objekte sind *Episcia bicolor* und eine Anzahl nach Molisch sich gleich verhaltender Pflanzen, von welchen zwar die das Verhalten am typischsten zeigende *Episcia bicolor* selbst nicht, wohl aber ihre nächsten Verwandten, wie auch die gleichfalls bei Molisch angeführten Arten: *Tradescantia discolor, Begonia scandens, Bertolonia marmorata, Bryophyllum calycinum* untersucht wurden. Während alle diese Objekte nach Molisch's Versuchen bei einer Temperatur dicht über Null Grad an einer Erkältungskrankheit zugrunde gingen, hielten sie doch alle ein einmaliges Abkühlen bis $-2{,}00^{\circ}$ aus, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist.

Tabelle I.

Objekt	Erfrierpunkt
Tradescantia discolor Blatt	— 2,34°
Begonia scandens Stengel	— 2,26°
Bertolonia marmorata Blattstiel	— 2,33°
Bryophyllum calycinum Blattstiel	— 2,26°
Peristrophe speciosa Stengel	— 2,19°
Episcia tesselata Blattstiel	— 2,23°
Episcia punctata Blattstiel	— 2,12°
Episcia glabra Blattstiel	— 2,33°
Sinningia atropurpurea Blattstiel	— 2,19°
Kohleria hirsuta Blattstiel	— 2,30°

II.

Die Abhängigkeit des Kältetodes vom Turgor der Zelle.

Gesteigerter osmotischer Druck im Innern von Zellen wird von Molisch[1]) neben andern möglichen Faktoren als ein Schutzmittel gegen das Erfrieren angeführt.

Auch Pfeffer[2]) ist der Meinung, daß bis zu einem gewissen Grade die Widerstandsfähigkeit gegen das Erfrieren schon durch Erniedrigung des Gefrierpunktes, die durch eine Erhöhung des Turgors bedingt ist, sowohl des Zellsaftes wie der Imbibitionsflüssigkeit der Zellhäute gesteigert werde.

Im Gegensatz dazu ist Apelt[3]) durch seine Untersuchungen dazu gekommen, daß irgend welcher Parallelismus zwischen dem Zuckergehalt kalt gelagerter Kartoffeln (und damit zwischen dem Turgor derselben) und der Erniedrigungsgröße der Erfrierpunkte unter Einfluß der Kaltlagerung nicht besteht. Damit sei auf experimentellem Wege nachgewiesen, daß die Erhöhung des osmotischen Druckes durch den gebildeten Zucker nicht die Ursache

[1]) Molisch: l. c. S. 33.
[2]) Pfeffer: l. c. S. 317.
[3]) Apelt: l. c. S. 37.

für die Herabsetzung des Kältetodes der Kartoffel sein könne.

Die von Apelt l. c. aufgeführten Variationen im Turgor der Kartoffeln belaufen sich auf folgende Größe: Nach seinen eigenen Untersuchungen (S. 34) beträgt die niedrigste Zahl für den Zucker und zwar für die Glukose allein 1,715 % des Saftgewichtes. Diese Zuckermenge ist isoton mit einer Kalisalpeterlösung von 0,613 % und entspricht einem osmotischen Druck von 2,145 Atmosphären[1]).

Die höchsten Zahlen für die Kartoffel hat Apelt[2]) nicht selbst gefunden, sondern den Untersuchungen von H. Müller-Thurgau[3]) entnommen. Dieselben betragen an Glukosegehalt der Kartoffel 3,618 %, wozu noch 1,800 % Rohrzucker kommt.

Unter der Voraussetzung, daß der Rohrzucker in den kalt gelagerten Kartoffeln in wesentlich größeren Mengen vorhanden ist als in den bei 10° C. gelagerten (und diese Annahme muß nach den Ausführungen von H. Müller-Thurgau[4]) gemacht werden), können die genannten höchsten Zahlen als Gegensatz zu den Apelt'schen niedrigsten Zahlen umsomehr vergleichsweise Verwendung finden, als Apelt den Rohrzuckergehalt nicht bestimmt hat und deswegen seine hier zu verwendenden Zahlen eher zu niedrig als zu hoch sind.

Wird die Zahl des Rohrzuckers mit seinem doppeltgroßen Molekulargewicht in der Hälfte eingesetzt, so würde die Müller-Thurgau'sche Höchstzahl 4,518 % Glukose betragen, was 1,616 % Kalisalpeter isoton wäre und einen osmotischen Druck von 5,657 Atmosphären darstellen würde.

[1]) Pfeffer: l. c. I, S. 137.

[2]) Apelt: l. c. S. 38.

[3]) H. Müller-Thurgau: l. c. XI, 1882, S. 752 ff.

[4]) H. Müller-Thurgau: Über die Natur des in süßen Kartoffeln sich vorfindenden Zuckers. Landwirschaftl. Jahrbücher XIV, 1885, S. 909—912, und Landw. Jahrb. 1882, S. 774 ff.

Die Turgordifferenz zwischen der höchsten und niedrigsten Zahl würde dementsprechend 5,657—2,145 = 3,512 Atmosphären betragen.

So groß diese Differenz absolut genommen ist, so stellt sie doch keineswegs eine bedeutende Turgordifferenz dar. Werden Zellen verschiedener Art miteinander verglichen, so ist es leicht, wesentlich höhere Turgordifferenzen aufzufinden (vgl. in der folgenden Tabelle die erst aufgeführten und die am Ende stehenden Objekte), und es muß sich bei Bestimmung der jeweilig zugehörigen Erfrierpunkte noch klarer, als dies bei der Kartoffel allein der Fall war, herausstellen, ob der Turgor der Zellen wesentlichen Einfluß auf die Lage des Erfrierpunktes hat.

Im folgenden rücke ich eine Tabelle der von mir beobachteten Turgor- und Erfrierpunktsgrößen ein, in der Weise angeordnet, daß ich die Objekte nach der Größe ihres Turgors aufzähle.

Tabelle II.

Objekt	Turgor		Erfrierpunkt
	Kalisalpeter %	Atmosphären	
Vaucheria terrestris	1,4	4,90	— 31,90°
Oscillaria Froelichii	1,6	5,60	— 65,00
Oscillaria antliaria	1,6	5,60	— 62,00
Ceratodon purpureus	1,6	5,60	— 16,20
Fegatella conica	1,6	5,60	— 14,50
Sempervivum latifolium, Stengel	1,6	5,60	— 11,20
Elodea canadensis	1,6	5,60	— 4,60
Sphagnum acutifolium	1,7	5,95	— 16,20
Helleborus niger, Stengel	1,7	5,95	— 15,80
Spirogyra spec.	1,7	5,95	— 15,50
Saxifraga tenella	1,7	5,95	— 14,20
Sempervivum Mettenianum, Blatt	1,7	5,95	— 13,60
Mercurialis perennis, Stengel	1,7	5,95	— 7,30
Hydrilla verticillata	1,7	5,95	— 5,00
Melianthus major, Blattstiel	1,7	5,95	— 2,90
Bertolonia marmorata, Blattstiel	1,7	5,95	— 2,33
Gunnera chilensis, junger Blattstiel	1,7	5,95	— 2,30
Aregelia spectabilis, Blatt	1,7	5,95	— 2,30
Bryophyllum calycinum, Blattstiel	1,7	5,95	— 2,26
Pothos aureus, Stengel	1,7	5,95	— 2,24
Stigeoclonium spec.	1,8	6,30	— 25,50
Cladophora spec.	1,8	6,30	— 20,70

Objekt	Turgor: Kalisalpeter %	Turgor: Atmosphären	Erfrierpunkt
Senecio vulgaris, Stengel	1,8	6,30	— 8,45
Chelidonium majus, Stengel	1,8	6,30	— 6,99
Viburnum tinus, Blattstiel	1,8	6,30	— 4,00
Beta vulg. rapa, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,95
Tradescantia discolor, Blatt	1,8	6,30	— 2,34
Spathiphyllum cannaefolium, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,33
Vanda suavis, Blatt	1,8	6,30	— 2,33
Rhaphis flabelliformis, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,30
Chamaedorea Lindeniana, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,29
Begonia scandens, Stengel	1,8	6,30	— 2,26
Spironema fragrans, Blatt	1,8	6,30	— 2,26
Ruellia mucronata, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,22
Peristrophe speciosa, Stengel	1,8	6,30	— 2,19
Solandra grandiflora, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,12
Vanilla aromatica, Stengel	1,8	6,30	— 2,10
Cucumis sativus, Frucht	1,8	6,30	— 2,05
Nepenthes Curtisii, Blatt	1,8	6,30	— 2,00
Amomum cardomomum, Blattstiel	1,8	6,30	— 2,00
Hedera helix, Blattstiel	1,9	6,65	— 23,30
Bellis perennis, Stengel	1,9	6,65	— 7,90
Secale cereale, Stengel	1,9	6,65	— 7,80
Nerium Oleander, Blattstiel	1,9	6,65	— 5,00
Veronica speciosa, Blattstiel	1,9	6,65	— 4,80
Duroillea dependens, Blattstiel	1,9	6,65	— 4,30
Ruscus aculeatus, Phyllocladium	1,9	6,65	— 4,20
Olea europaea, Blattstiel	1,9	6,65	— 4,10
Drimys Winteri, Blattstiel	1,9	6,65	— 4,00
Eucalyptus globulus, noch unverholzter Stengel	1,9	6,65	— 3,35
Ocotea canariensis, Blattstiel	1,9	6,65	— 3,00
Dahlia variabilis, Knolle	1,9	6,65	— 2,50
Ceratonia Siliqua, Blattstiel	1,9	6,65	— 2,35
Phaseolus vulgaris, Stengel der Keimpflanze	1,9	6,65	— 2,30
Anthurium Grusonii, Blattstiel	1,9	6,65	— 2,26
Cucurbita pepo, Stengel	1,9	6,65	— 2,23
Polypodium ireoides, Blattstiel	1,9	6,65	— 2,20
Anthurium Scherzerianum, Blattstiel	1,9	6,65	— 2,14
Musa Ensete, Blattstiel	1,9	6,65	— 2,10
Taxus baccata, Blattspreite	2,0	7,00	— 24,90
Rhododendron ponticum, Blattstiel	2,0	7,00	— 23,00
Saxifraga elatior, Stengel	2,0	7,00	— 12,00
Aucuba japonica, Blattstiel	2,0	7,00	— 4,00
Laurus nobilis, Blattstiel	2,0	7,00	— 3,50
Phillyrea latifolia, Blattstiel	2,0	7,00	— 3,30
Escallonia mucronata	2,0	7,00	— 3,10
Ilex aquifolium, Blattstiel	2,1	7,35	— 24,00
Viola odorata, Stengel	2,2	7,70	— 9,30
Apium graveolens, Wurzel	2,9	10,15	— 2,60
Hyacinthus orientalis, Zwiebel	2,9	10,15	— 2,50

Objekt	Turgor: Kalisalpeter %	Turgor: Atmosphären	Erfrierpunkt
Colchicum autumnale, Zwiebel . . .	3,1	10,85	— 4,45
Allium cepa, Zwiebel	3,3	11,55	— 5,70
Pirus communis, Frucht	3,5	12,25	— 2,75
Mespilus germanica, Frucht	3,6	12,60	— 7,50
Pirus malus, Frucht	3,8	13,30	— 2,70
Beta vulg. rapa, Wurzel	4,7	16,45	— 5,00
Beggiatoa alba	15,5	54,00	— 47,00

Die abgedruckte Tabelle mit ihren Zahlen spricht für sich selbst, und es ist eigentlich kaum nötig, darauf hinzuweisen, daß nach ihr zwischen dem Turgor und dem Erfrierpunkt absolut kein Verhältnis auffindbar ist. Ich mache darauf aufmerksam, daß das Objekt mit dem niedrigsten Turgor von 4,90 Atmosphären, *Vaucheria terrestris*, einen Erfrierpunkt von — 31,90° C. aufweist, also den viertniedrigsten überhaupt beobachteten Erfrierpunkt besitzt.

In gleicher Weise spricht klar die Tatsache, daß *Oscillaria Froelichii* mit einem Erfrierpunkt von — 65,00° den gleichen Turgor, nämlich 5,60 Atmosphären aufweist wie *Elodea canadensis*, deren Erfrierpunkt bei — 4,60° liegt.

Sehr lehrreich sind auch die Spezies, deren Turgor gleichmäßig zu 7,00 Atmosphären bestimmt wurde: hier liegt der Erfrierpunkt für *Taxus baccata* bei — 24,90°, für *Rhododendron ponticum* bei — 23,00°, dagegen für *Phillyrea latifolia* bei — 3,30° und für *Escallonia mucronata* bei — 3,10°.

Daß es sich beim Erfrieren der Pflanzen um andere Verhältnisse handelt, als um die Größe des Turgors, geht aus meiner Liste weiter hervor. Kein einziges der zu den niedrigen Kryptogamen gehörigen Objekte, soweit dieselben auf dem Lande leben, erfriert über — 31,90°, wobei zu bemerken ist, daß *Vaucheria terrestris*, welche diesen Erfrierpunkt aufweist, zur Untersuchung direkt aus dem Gewächshaus entnommen wurde, so daß (wie später gezeigt

werden wird) dieser Erfrierpunkt nicht als der tiefste angesehen werden kann, den die Pflanze erreicht.

Ferner mache ich darauf aufmerksam, daß auch die im Wasser lebenden niedrigen Kryptogamen sich gleichfalls durch abnorm tiefe Erfrierpunkte auszeichnen, ohne daß man, wie dies später gezeigt werden wird, die Zellgröße oder Zellkleinheit hier als erklärendes Moment in Anspruch nehmen darf. Keines der den niedrigen Kryptogamen angehörenden, im Wasser lebenden untersuchten Objekte erfriert über — 15,50° (Spirogyra spec.). Die unter gleichen Verhältnissen lebende, zu den Desmobakterien gehörende *Beggiatioa alba* weist sogar einen Erfrierpunkt von — 47,00° auf.

Auch die untersuchten Bryophyten sind sämtlich durch ihre niedrige Erfriertemperatur ausgezeichnet; von ihnen wurde die höchste Zahl für die direkt aus dem Gewächshaus geholte *Fegatella conica* mit — 14,50° bestimmt, *Sphagnum acutifolium* erfror bei — 16,20°.

Die niedrige Temperatur des einzigen untersuchten zu den Bakterien gehörigen Organismus, nämlich der *Beggiatoa alba*, steht in vortrefflicher Übereinstimmung mit den übrigen für diese Pflanzen sonst bekannt gewordenen niedrigen Zahlen.[1]) In gleicher Weise schließen sich die beiden anderen der Untersuchung unterworfenen Spaltpflanzen *Oscillaria antliaria* und *Oscillaria Froelichii* den Bakterien an.

Hier handelt es sich wahrscheinlich um verwandtschaftliche Beziehungen, welche gleichartige Eigenschaften des Protoplasmas bedingen und damit auch für die abnorm tief gelegenen Erfrierpunkte bestimmend sind.

Gleichfalls verwandschaftliche Beziehungen verbinden die höheren Algen miteinander und lassen ihre Erfrierpunkte ebenfalls als in einer gemeinsamen Gruppe geordnet erscheinen, wobei es bemerkenswert ist, daß derjenige Organismus, welcher an der Luft lebt, trotz seines warmen

[1]) Pfeffer: l. c. S. 305.

Standortes den niedrigsten Erfrierpunkt aufwies, während die im Wasser lebenden Arten einen relativ hohen Erfrierpunkt aufweisen. Ich werde unten zu zeigen haben, daß ganz dieselben Beobachtungen auch bei Vergleich der die gemäßigten Klimate bewohnenden Landpflanzen mit den submersen Wasserpflanzen der gleichen Klimate sich ergeben, und daß es sich bei dieser Differenz wohl um den Einfluß der hohen spezifischen Wärme des Wassers auf die submersen Gewächse handelt.

Auch die untersuchten *Bryophyten* stellen eine verwandschaftlich geschlossene Gruppe dar, insofern als bei ihnen gleichmäßig relativ tiefe Erfrierpunkte vorhanden sind. Die absolute Lage dieser Punkte wird aber von mehreren untersuchten Samenpflanzen (insbesondere von *Ilex aquifolium* mit — 24,00°, *Hedera helix* mit — 23,30° u. a.) unterboten.

Von den Pteridophyten habe ich allein das tropische *Polypodium ireoides* aus dem Warmhaus untersucht und dabei einen der höchstgelegenen Erfrierpunkte, nämlich — 2,20°, festgestellt; einen Erfrierpunkt, welcher sonst nur von denen der exquisit tropischen Samenpflanzen, ferner der Frucht von *Cucumis sativus*, sowie der Kartoffelknolle überholt wird.

Ich werde unten auszuführen haben, daß sich die Erfrierpunkte wesentlich nach dem Klima richten, in welchen die Pflanzen leben. Von den Spaltpflanzen, welche ich untersucht habe, sehe ich ab. Von allen anderen niederen Kryptogamen inkl. Bryophyten habe ich nur Spezies untersucht, welche in gemäßigten Klimaten vorkommen. Ich halte es für nicht ausgeschlossen, daß tropische Repräsentanten dieser Gruppe höher liegende Erfrierpunkte aufweisen, als die von mir untersuchten Spezies und möchte dementsprechend die Tatsache, daß die wenigen Bryophyten und wenigen höheren Algen, welche ich untersucht habe, bezüglich ihrer Erfrierpunkte so fest geschlossene Gruppen bilden, hier nur feststellen, nicht aber zu weiteren Schlüssen verwenden.

An dieser Stelle muß ich darauf hinweisen, daß meine Angaben über die Erfriertemperatur der Algen — es handelt sich speziell um *Spirogyra* und *Cladophora* — beträchtlich abweichen von denjenigen, welche Molisch[1]) über die gleichen Objekte veröffentlicht hat.

Molisch hat mit einer *Spirogyra*-Art experimentiert, welche nach seiner Angabe mit einem sehr enggewundenen Chlorophyllband, nach seiner Zeichnung (S. 22, Fig. a) offenbar mit mehreren Chlorophyllbändern versehen ist. Er untersuchte die Alge in dem von ihm angegebenen Gefriermikroskop, vom Deckglas bedeckt, und beobachtete dabei, daß beim Gefrieren des Wassers, welches etwa bei — 3° beginnt, folgendes zu sehen ist: Zuerst gefriert das Einbettungswasser, die Eiskrystalle dringen Wolken gleich in das Gesichtsfeld ein, bis sie unter reichlichem Abscheiden von Luftblasen die Spirogyra einschließen. Es folgt ein Stadium, in welchem eine bedeutende Kontraktion des gesamten *Spirogyra*-Fadens eintritt.

Nach Molisch's Angaben betrug der Querdurchmesser der frischen Zelle in einem Falle 52,8 μ, der der gefrorenen 19,8 μ. Aus diesen und anderen Fällen berechnet, gibt Molisch eine Verkürzung des Durchmessers während des Gefrierens um etwa 62 % an.

Während und infolge der Eisbildung soll nach Molisch der Tod der Zellen eintreten — er zeichnet unter c in der angegebenen Figur einen Faden, in welchem zwar die Zellwände wieder ungefähr ihren früheren Durchmesser erreicht haben, der Protopalast aber als geschrumpfte, wurstförmige Masse im Innern liegt.

Der Tod soll zwischen — 3° bis — 6° eingetreten sein.

Völlig die gleichen Angaben macht Molisch bezüglich einer Cladophora, welche bei einer bis auf — 8° sinkenden Temperatur, sowohl eine ähnliche Schrumpfung wie *Spirogyra* wie den Tod erleidet.

[1]) H. Molisch: l. c. S. 21—23.

Ich habe mich gefragt, wie die verschiedenen Resultate bezüglich des Erfriertodes der gleichen Objekte erklärbar sind und bin zu folgenden Resultaten gekommen:

Meine Untersuchungsmethode war die, daß ich die Algenfäden um die Thermonadel wickelte und das Ganze freischwebend der niederen Temperatur aussetzte, wobei ich die oben angegebenen Todespunkte (Spirogyra spec. — 15,50° und Cladophora spec. — 20,70°) bestimmte. Oberhalb dieser Temperatur lebten die Objekte, unterhalb derselben waren sie regelmäßig abgestorben.

Um die Versuchsanordnung Molisch's mit der meinen in direkten Vergleich ziehen zu können, habe ich wiederholt auf ein und denselben Objektträger je 2 Präparate, sowohl von Cladophora wie von Spirogyra, in einem Wassertropfen angesetzt, eines derselben mit Deckglas bedeckt, das andere ohne Deckglas gehalten, und habe das Präparat in der Weise der Kälte ausgesetzt, daß ich sie in den kalten Nächten des Januar 1907 ins Freie brachte.

Ich beobachtete nun, daß bei den gefrorenen und wieder aufgetauten Objekten diejenigen, welche mit Deckglas bedeckt waren, regelmäßig tot waren und die Bilder zeigten, wie sie Molisch als für den Erfriertod dieser Algen charakteristisch angiebt, während die nicht mit dem Deckglas bedeckten Objekte lebten nnd auf plasmolytische Versuche prompt reagierten.

Durch die Bedeckung der Objekte mit Deckgläschen hat Molisch in seinen Versuch offenbar eine schwerwiegende Fehlerquelle eingeführt, über deren Bedeutung ich mich in anbetracht der Tatsache, daß die Erörterung der physikalischen Verhältnisse in kapillaren Räumen besondere Schwierigkeiten bietet, nur mit größter Reserve äußern darf.

Jedenfalls aber zeigt mein Versuch, daß bei der von Molisch angegebenen Anordnung des Gefrierversuches mit Deckglas nicht die niedere Temperatur allein, sondern auch noch andere schädigende Einflüsse auf die Algen ein-

gewirkt haben, und daß deshalb die letzte Stütze der Theorie, welche im Kältetod einen Austrocknungstod sieht, mit der Entkräftung dieser Molisch'schen Experimente gefallen ist.

III.

Verhältnis von Zellgröße und Erfrierpunkt.

Nachdem im vorhergehenden Kapitel gezeigt wurde, daß zwischen osmotischem Druck und Erfrierpunkt keinerlei Zusammenhang besteht, ist es nun meine Aufgabe, den gleichen Nachweis bezüglich der Angaben zu führen, welche ein Verhältnis zwischen Zellgröße und Erfrierpunkt behaupten.

Klar ausgedrückt finden wir diesen Gedanken bei Molisch pag. 19 u. 26: „Jedenfalls ist die mikroskopische Kleinheit der Zelle bis zu einem gewissen Grade als ein Schutzmittel gegen Erfrieren und Gefrieren zu betrachten."

Über diesen Punkt hat Apelt nur ganz nebensächlich gehandelt, so daß mir die Beweisführung in ihrem ganzen Umfang zufällt.

Die Methode, nach welcher ich vorgegangen bin, war die, daß ich den Erfrierpunkt einer großen Anzahl von Pflanzen bestimmte, seine Höhe mittels der plasmolytischen Methode mehrfach nachprüfte und dann auf Längs- und Querschnitten die Größe der Zellen, in deren direkter Umgebung die Thermonadel gesteckt hatte, durch Messungen bestimmte.

Die von mir gewonnenen Resultate werden durch die folgende Tabelle dargestellt:

Tabelle III.

Zellgröße und Erfrierpunkt.

(Nach der Größe der Zellen absteigend angeordnet.)

Objekt	Zellgröße in cbmm	Erfrierpunkt °C
Sempervivum latifolium, Stengel	0,00 300	— 11,20
Pirus communis, Frucht	0,00 200	— 2,75
Beta vulgaris rapa, Blattstiel	0,00 200	— 2,95
Bryophyllum calycinum, Blattstiel	0,00 173	— 2,26
Cucumis sativa, Frucht	0,00 164	— 2,01
Pirus malus, Frucht	0,00 150	— 2,70
Hyacynthus orientalis, Zwiebel	0,00 145	— 2,50
Spironema fragrans, Blatt	0,00 132	— 2,26
Tulipa Gesneriana, Zwiebel	0,00 132	— 3,00
Allium cepa, Zwiebel	0,00 112	— 5,70
Saxifraga elatior, Stengel	0,00 109	— 12,00
Mercurialis perennis, Stengel	0,00 096	— 7,30
Cladophora spec.	0,00 086	— 20,70
Dahlia variabilis, Knolle	0,00 065	— 2,50
Solandra grandiflora, Blattstiel	0,00 064	— 2,12
Anthurium Grusonii, Blattstiel	0,00 060	— 2,26
Tradescantia discolor, Blatt	0,00 062	— 2,34
Mespilus germanica, Frucht	0,00 058	— 7,50
Sempervivum Mettenianum, Blatt	0,00 056	— 13,60
Stigeoclonium spec.	0,00 054	— 25,50
Pothos aurea, Stengel	0,00 049	— 2,24
Bertolonia marmorata, Blattstiel	0,00 042	— 2,33
Begonia ulmaefolia, Stengel	0,00 039	— 2,26
Polypodium ireoides, Blatt	0,00 039	— 2,20
Peristrophe speciosa, Stengel	0,00 039	— 2,19
Musa Ensete, Blattstiel	0,00 039	— 2,10
Colchicum autumnale, Zwiebel	0,00 038	— 4,45
Vanilla aromatica, Stengel	0,00 035	— 2,10
Spathiphyllum cannaefolium, Blattstiel	0,00 033	— 2,33
Phascolus vulgaris, Steng. d. Keiml.	0,00 032	— 2,30
Spirogyra spec.	0,00 030	— 15,50
Hyacynthus orientalis, junges Blatt	0,00 029	— 2,50
Helleborus niger, Stengel	0,00 024	— 15,80
Daucus carota, Wurzel	0,00 022	— 4,91
Aucuba japonica, Blattstiel	0,00 022	— 4,00
Ruellia mucronata, Blattstiel	0,00 021	— 2,22
Amomum cardamomum, Blattstiel	0,00 020	— 2,00
Saxifraga tenella, Stengel	0,00 020	— 14,20
Drimys Winteri, Blattstiel	0,00 020	— 4,10
Viburnum tinus, Blattstiel	0,00 018	— 4,00
Beta vulgaris rapa, Wurzel	0,00 016	— 5,00
Vanda suavis, Blatt	0,00 015	— 2,33
Apium graveolens, Wurzel	0,00 015	— 2,60
Senecio vulgaris, Stengel	0,00 014	— 8,45
Chelidonium majus, Stengel	0,00 012	— 6,99
Veronica speciosa, Blattstiel	00,0 012	— 4,80

Objekt	Zellgröße in cbmm	Erfrierpunkt °C
Rhaphis flabelliformis, Blattstiel . . .	0,00 012	— 2,30
Melianthus major, Blattstiel	0,00 010	— 2,90
Chamaedorea Lindeniana, Blattstiel . .	0,00 008	— 2,29
Viola odorata, Stengel	0,00 007	— 9,30
Escallonia macrantha, Blattstiel . . .	0,00 007	— 3,10
Durvillea dependens, Blattstiel	0,00 006	— 4,30
Rhododendron ponticum, Blattstiel . .	0,00 005	— 23,00
Hedera helix, Blattstiel	0,00 005	— 23,30
Elodea canadensis, Blatt	0,00 005	— 4,60
Laurus nobilis, Blattstiel	0,00 005	— 3,50
Ruscus aculeatus, Phyllocladium . . .	0,00 005	— 4,20
Ilex aquifolium, Blattstiel	0,00 004	— 24,00
Hydrilla verticillata, Stengel	0,00 004	— 5,00
Nerium Oleander, Blattstiel	0,00 004	— 5,00
Ceratonia Siliqua, Blattstiel	0,00 004	— 2,35
Aregelia spectabilis, Blattspreite . . .	0,00 004	— 2,30
Olea europaea, Blattstiel	0,00 003	— 4,10
Secale cereale, junges Blatt	0,00 002	— 7,80
Bellis perennis, Stengel	0,00 002	— 7,90
Taxus baccata, Blattspreite	0,00 002	— 24,90
Phillyrea latifolia, Blattstiel	0,00 002	— 3,30
Anthurium Scherzerianum, Blattstiel . .	0,00 002	— 2,14
Evonymus japonica, Blattstiel	0,00 001	— 4,00
Eucalyptus globulus, Blattstiel	0,00 001	— 3,35

Auch die Zahlen der hier gegebenen Tabelle sprechen für sich und brauchen keine weitere Erklärung. Sie sind absteigend nach der Zellgröße geordnet und das regellose Durcheinandergehen der Zahlen, welche die Erfrierpunkte in Graden darstellen, zeigt genügend, daß auch hier keinerlei Korrelation vorhanden ist. Nicht einmal die bei meiner früheren Tabelle (Tab. 2) sich ergebenden verwandtschaftlichen Beziehungen drücken sich hier aus, es ist keinerle Ordnung in die Tabelle zu bringen, und ich komme zu dem Schluß, daß es sich beim Erfrierpunkt der Pflanzen allein um Verhältnisse handelt, welche in der Konstitution des Protoplasmas begründet sind, und welche mit irgendwelchen gröberen mechanischen Verhältnissen nichts zu tun haben.

IV.

Die Abhängigkeit des Erfrierpunktes von der Außentemperatur.

Das interessanteste Ergebnis der Apelt'schen Arbeit war, wie bereits oben bemerkt, gewesen, daß er zuerst exakt nachwies, daß kaltgelagerte Kartoffeln einen wesentlich erniedrigten, warm gelagerte einen erhöhten Erfrierpunkt aufweisen.

Apelt[1]) ist zweifelhaft, ob dies Verhalten der Kartoffel auf einer primären Eigenschaft des Protoplasmas beruht, oder ob es eine ökologische Bedeutung besitzt, d. h. von den Pflanzen der gemäßigten und kalten Klimate erworben ist.

Die Untersuchung dieser Frage besitzt erhebliche theoretische Bedeutung; sie wurde mir zur Aufgabe gestellt und in der Weise durchgeführt, daß ich die Erfrierpunkte einer größeren Anzahl von Pflanzen verschiedener Klimate, sowie die Fähigkeit derselben, unter dem Einfluß extremer Temperaturen ihren Erfrierpunkt zu variieren, untersuchte.

Die Methode, welche dabei angewandt wurde, war die, daß ich als niedere Temperatur die meines Eisschrankes, welche konstant auf 0° bis + 1° stand, benutzte. Als Mitteltemperatur habe ich teils die Wärme eines Kalthauses des Halle'schen Kgl. Botanischen Gartens verwendet, in welchem die Temperatur zwischen + 9° und + 11° schwankte, teils die Temperatur des ungeheizten Zimmers, in dem ich arbeitete, und worin das Thermometer + 6° bis + 8° zeigte. Für die Untersuchung mit hohen Temperaturen diente ein Warmhaus, in welchem das Thermometer ziemlich konstant + 20° zeigte.

In den angegebenen Räumen wurden die Pflanzen aufbewahrt und zwar die abgeschnittenen Stengel im Wasser stehend, die submersen Gewächse in Wassergläsern schwimmend.

Das erste Ergebnis meiner hier darzustellenden Untersuchung ist, daß die Fähigkeit, je nach der außen herr-

[1]) Apelt: l. c. S. 40.

schenden Temperatur den Erfrierpunkt zu variieren, keine primäre Eigenschaft des Protoplasmas ist, sondern sich nur bei denjenigen Gewächsen vorfindet, welche in ihrer Heimat niedrigen Temperaturen ausgesetzt sind.

Ich lasse im folgenden eine Tabelle von 21 echten Tropenpflanzen folgen, nach der Höhe ihres Erfrierpunktes geordnet. Die ersten 3 Spalten zeigen, daß bei diesen sämtlichen Objekten binnen 10 Tagen eine Änderung des Erfrierpunktes nicht eingetreten ist.

Dieser Zeitraum ist, wie unten gezeigt werden wird, reichlich groß genug, um mit Sicherheit zum Resultat zu kommen, ob überhaupt Erfrierpunktsänderungen eintreten können oder nicht. Dazu sei betont, daß die Frist von 10 Tagen bei den allermeisten der in Tabelle 4 aufgezählten Gewächse das Äußerste darstellt, was überhaupt an Ausdehnung der Experimentzeit möglich war.

In der fünften Spalte habe ich nämlich die Frist angegeben, innerhalb welcher bei Eistemperatur Krankheitserscheinungen beobachtbar waren. Diese zeigten sich genau in der Weise, wie sie Molisch[1]) angibt, die zarten Partien, insbesondere die Blattspreiten verfärbten sich zunächst, fortschreitend von deutlich kennbaren Zentren verbreitete sich die Verfärbung, welche rascher oder langsamer in Bräunung überging.

Überall dort, wo diese Krankheitserscheinungen bald aufgetreten sind, wird man in der dritten Spalte meiner Tabelle keine Zahlen finden; wo in dieser Spalte Bestimmungen eingezeichnet sind, stammen sie von noch unzweifelhaft gesunden Partien unter dem Einfluß der Kälte später erkrankender Arten.

Die 6. Spalte meiner Tabelle gibt die Daten, innerhalb welcher die betreffenden Objekte in der Eiskiste vollständig abgestorben waren; man wird bemerken, daß ein deutlicher Zusammenhang zwischen rascher Erkrankung

[1]) Molisch: l. c. S. 61, 62.

und baldigem Tod, später Erkrankung und hinausgeschobenem Ende vorhanden ist.

Als auf eine bemerkenswerte Erscheinung möchte ich darauf hinweisen, daß echte Tropenpflanzen vorkommen (*Aregelia spectabilis, Rhaphis flabelliformis, Chamaedorea Lindeniana*), welchen selbst 30 Tage Eiskastentemperatur nichts anhaben konnte.

Tabelle IV.

Objekt	Erfrierpunkt bei 20°	Erfrierpunkt am 10. Tag bei +6° bis 8°	Erfrierpunkt am 10. Tag bei +1°	Gefrierpunkt	Krankheitsspuren sichtbar nach ? Tagen	Tod trat ein nach ? Tagen
Nepenthes Curtisii, Blatt	— 2,00	— 2,00	—	?	2	15
Amomum cardamomum, Blattstiel . . .	— 2,00	— 2,00		— 1,6	9	?
Musa Ensete, Blattstiel .	— 2,10	— 2,10	— 2,10	— 1,7	7	?
Vanilla aromatica, Stengel	— 2,10	— 2,10	— 2,10	— 1,9	5	28
Solandra grandiflora, Blattstiel . . .	— 2,12	— 2,12		— 1,6	15	27
Anthurium Scherzerianum, Blattstiel . . .	— 2,14	— 2,14	— 2,14	— 1,8	15	?
Peristrophe speciosa, Stengel	— 2,19	— 2,19	—	— 1,7	2	12
Polypodium arcoites, Blatt	— 2,20	— 2,20	— 2,20	— 1,6	12	35
Ruellia macranta, Blattst.	— 2,22	— 2,22	—	— 1,6	4	12
Pothos aurea, Stengel .	— 2,24	— 2,24	—	— 1,6	3	13
Anthurium Grusonii, Blattstiel . . .	— 2,26	— 2,26	— 2,26	— 1,8	12	?
Bryophyllum calycinum, Blattstiel . . .	— 2,26	— 2,26	— 2,26	— 1,8	15	29
Begonia scandens, Stengel	— 2,26	— 2,26	—	— 1,8	5	11
Spironema fragrans, Blatt	— 2,26	— 2,26	—	— 1,7	10	?
Chamaedorea Lindeniana, Blatt	— 2,29	— 2,29	— 2,29	— 1,7	—	—
Rhaphis flabelliformis, Blattstiel . . .	— 2,30	— 2,30	— 2,30	— 1,7	—	
Spathiphyllum cannaefolium	— 2,33	— 2,33	—	— 1,7	2	12
Vanda suavis, Blatt . .	— 2,33	— 2,38		— 1,6	7	20
Bertolonia marmorata, Blattstiel . . .	— 2,33	— 2,33	—	— 1,7	2	11
Aregelia spectabilis, Blatt	— 2,33	— 2,33	— 2,33	— 1,7		
Tradescantia discolor, Blatt	— 2,34	— 2,34	—	— 1,6	3	11

Bei der Diskussion über die Ursachen der Erniedrigung und Erhöhung des Erfrierpunktes hebt Apelt[1]) hervor, daß er es in der Kartoffel mit einem in Beziehung auf die Entscheidung dieser Frage ganz besonders ungünstigen Objekt zu tun habe.

Es ist bezüglich der Kartoffel bekannt[2]), daß bei dieser infolge ihres reichen Gehaltes an Stärke und infolge der starken Verzuckerung der Stärke bei niedriger Temperatur Verhältnisse vorliegen, wie sie bei einem der hier von mir untersuchten Objekte entweder überhaupt nicht oder nur in ganz beschränktem Maße zu finden sind.

Durch die Tatsache, daß der gesunkene Erfrierpunkt stets auch einer größeren Zuckermenge entspricht, sowie durch die Erwägung, daß die Vegetationspunkte (welche die Baumaterialien der Pflanzen in besonders starkem Maße an sich ziehen) sich gleichfalls durch erhöhte Kälteresistenz auszeichnen, veranlaßt, hat Apelt[3]) die Möglichkeit angedeutet, daß es sich bei der Hebung und Senkung des Erfrierpunktes vielleicht um Änderungen der Ernährungsverhältnisse des Protoplasmas handeln könne.

Es wird unten meine Aufgabe sein, an der Hand besonders angestellter Versuche zu zeigen, daß diese Vermutung unrichtig ist. Hier sei schon darauf hingewiesen, daß bei den in Tabelle 4 dargestellten tropischen Phanerogamen die Ernährungsverhältnisse der Organe keinerlei erkennbaren Einfluß auf die Lagerung der Erfrierpunkte besitzen.

Eindringen des Lichtes in meinen Eiskasten war ausgeschlossen. Assimilation und Ersatz der zwar langsam, aber unzweifelhaft veratmeten plastischen Nährmaterialien konnte bei Objekten, welche nicht Reservestoff-Speicher darstellen oder mit solchen in Verbindung stehen, nicht eintreten und wenn auch vielleicht bei den bei Zimmertemperatur gehaltenen Objekten, welche im Licht standen, gegenüber den aus dem hellen Warmhaus gebrachten noch

[1]) Apelt: l. c. S. 40.
[2]) H. Müller-Thurgau: l. c. XI. 1882, S. 751—828.
[3]) Apelt: l. c. S. 58.

nicht von einem nachweisbaren Hungerzustand gesprochen werden kann, so ist ein solcher doch jedenfalls für die 30 Tage und darüber im Eiskasten im Dunkeln liegenden Objekte mindestens wahrscheinlich; unter keinen Umständen stehen sie unter den gleichen Ernährungs-Bedingungen wie die gleichartigen belichteten Objekte. Trotzdem zeigten diese keine Erfrierpunktsdifferenz.

Auf noch einen weiteren Punkt möchte ich an der Hand der oben abgedruckten Tabelle hinweisen:

Bei keinem einzigen der untersuchten typisch tropischen Objekte war ein Erfrierpunkt über — 2,00° nachweisbar.

Am zartesten erwies sich *Nepenthes Curtisii* und *Amomum cardomomum*, welche bei — 2,00° erfrieren; ihnen schließen sich mehrere andere *(Vanilla aromatica, Anthurium Scherzerianum, Solandra grandiflora, Musa Ensete)* an, bei welchen der Erfrierpunkt nur um Zehntelgrade tiefer liegt.

Der tiefste Erfrierpunkt echt tropischer Gewächse wird nach meinen Untersuchungen von Tradescantia discolor mit — 2,34° erreicht, ihr schließen sich die beiden schon oben erwähnten Palmen, sowie *Aregelia spectabilis* am nächsten an.

Die Tatsache, daß ich kein Tropengewächs kennen gelernt habe, dessen Erfrierpunkt über — 2,00° liegt, erscheint mir beachtenswert.

Es wäre von großem Interesse, wenn durch genaue Messungen Pflanzen bekannt würden, deren Todespunkt höher läge. Die Temperatur von — 2° hat zwar mit den (wie Spalte 4 der Tabelle 4 zeigt) immer noch höheren Gefrierpunkten des Zellsaftes dieser Pflanze nichts zu tun, aber ein solcher Nachweis würde für die Lösung mancher pflanzengeographischen Frage von Bedeutung sein.

Auf die Spalte 4 meiner Tabelle, welche die Gefrierpunkte betrifft, ist besonders Gewicht zu legen.

Ich habe die Gefrierpunkte dieser Objekte sorgfältigst in der Weise bestimmt, daß ich sie auf etwas Eis aufsetzte, und dadurch Unterkühlung des Zellsaftes bei der Abkühlung vermied. Der Beginn des Gefrierens des Zell-

saftes in der Umgebung der Thermonadel wurde durch Unterbrechung des steilen Abfalls der Temperaturkurve festgestellt.

Nach diesen Bestimmungen liegt der Gefrierpunkt des Zellsaftes aller hier aufgeführten Objekte zwischen 1,6° und 1,9°, zeigt also nur geringe Differenz.

Bei allen diesen Objekten ist das Intervall zwischen Gefrierpunkt und Erfrierpunkt gering. Es ist aber bemerkenswert, daß die Schwankungen der Erfrierpunkte grösser sind als die der Gefrierpunkte. In dieser Beziehung werden folgende Untersuchungen wohl bei weiterem Ausgreifen mein Ergebnis modifizieren, da in Anbetracht der variablen Zusammensetzung der Zellsäfte, insbesondere in Berücksichtigung der Tatsache, daß die osmotischen Substanzen wie Pflanzensäuren, Zucker usw. größeren Schwankungen unterliegen können, auch größere Differenzen in den Gefrierpunkten zu erwarten sind. Den Tropenpflanzen schließt sich in ihrem Verhalten die Kartoffel an, da nach Apelt's[1]) Untersuchungen das Intervall zwischen Gefrier- und Erfrierpunkt mindestens 0,28° und höchstens 0,94° beträgt, welches gleichfalls sehr klein ist.

Von Wichtigkeit aber sind diese Intervalle bei den Tropenpflanzen ebenso wie es dasjenige bei der Kartoffel ist; sie zeigen nämlich, daß auch bezüglich der Tropenpflanzen nicht davon gesprochen werden kann, daß der Tod mit der Eisbildung und, daraus gefolgert, durch sie eintritt.

Auch außerhalb der Tropen finden sich eine Anzahl von Gewächsen, bei welchen keine Variation der Erfrierpunkte beobachtet werden konnte und welche sich dementsprechend in dieser Beziehung den Tropenpflanzen anschließen.

Es wäre interessant gewesen, hier recht weit ausgedehnte Untersuchungen eintreten zu lassen, nicht der theoretischen Bedeutung der Ergebnisse wegen, sondern weil dieselben vielleicht klimatologische oder Descendenzverhältnisse hätten

[1]) Apelt: l. c. S. 24.

beleuchten können. Ich bemerke, daß, abgesehen von *Gunnera chilensis* die gesamten in der folgenden Tabelle zusammengestellten Pflanzen zwar in subtropischen Klimaten leben, aber echt tropischen Familien angehören. *Gunnera chilensis* selbst gehört zwar einer nach ihrer geographischen Verbreitung antarktischen Gattung an, von welcher einzelne Untergattungen heute noch gemäßigte oder kalte Klimate bewohnen. Das Subgenus *Panke* Schindl. aber, zu welchem unsere Art gehört, schickt diese als äußersten Vertreter nach Süden, während die übrigen Arten teils etwas, teils wesentlich wärmere Gegenden bewohnen.[1])

Bei der Schwierigkeit und längeren Dauer jeder einzelnen Untersuchung war es leider ausgeschlossen, noch größere Objektserien, als sier hier geboten werden, zu untersuchen.

Tabelle V.

Pflanzen nicht tropischer Klimate, welche ihren Erfrierpunkt nicht ändern.

Objekt	Erfrierpunkte bei Außentemperatur			Gefrierpunkt
	+ 10°	+ 1°	+ 20°	
Ocotea canariensis	— 3,00	— 3,00	— 3,00	— 1,7°
Gunnera chilensis	— 2,30	— 2,30	— 2,30	— 1,6°
Ceratonia siliqua	— 2,35	— 2,35	— 2,35	— 1,8°
Escallonia mucronata	— 3,10	— 3,10	— 3,10	— 1,6°
Melianthus major	— 2,90	— 2,90	— 2,90	— 1,8°

Zu dieser Tabelle möchte ich nur bemerken, daß die in ihr aufgezählten Pflanzen zwar alle einen sehr hoch liegenden Erfrierpunkt aufweisen, welcher zwischen — 2,30° *(Gunnera chilensis)* und — 3,17° *(Escallonia mucronata)* schwankt und daß bei der folgenden Tabelle (vgl. S. 40) wie bereits hier vorausschauend bemerkt sei, der höchste Erfrierpunkt *(Philyrea latifolia)* bei — 3,30° liegt. Allein daraus den Schluß zu ziehen, daß hier etwas Gesetzmäßiges zum Ausdruck komme, insbesondere auszusagen, daß der

[1]) Vgl. Anton K. Schindler, Halorrhagaceae in Englers „Pflanzenreich", Heft 23, S. 124.

Erfrierpunkt von — 3,10° der äußerste sei, welcher bei megathermen Pflanzen noch vorkomme, halte ich nicht für begründet und zwar hauptsächlich deswegen, weil die genannten 5 Pflanzen, welche ihren Erfrierpunkt zu variieren nicht imstande sind und sich darin den Tropenpflanzen anschließen, einen niedrigern oder gleich hohen Erfrierpunkt aufweisen, wie die Stengel der Keimpflanzen von *Curcubita Pepo* und *Phaseolus vulgaris,* welche in Tabelle 7, S. 41 aufgenommen sind und welche bei kalter Außentemperatur eine Erniedrigung und bei warmer eine Erhöhung ihres Erfrierpunktes zeigen.

An die bisher behandelten tropischen und subtropischen Pflanzen schließen sich solche an, welche als Pflanzen von warmen Übergangsklimaten zu bezeichnen sind.

Sie haben alle bezüglich ihrer Reaktion auf Kälte die gemeinsame Eigenschaft, sehr hoch liegende Gefrierpunkte und Erfrierpunkte zu besitzen, zugleich aber zeigen sie die Erscheinung, daß bei ihnen eine wenn auch außerordentlich beschränkte Reaktionsfähigkeit auf äußere Temperaturänderung beobachtbar ist.

Von den angeführten Objekten gehören die in der folgenden (6.) Tabelle unter a) zusammengestellten der mediterranen Region an; die unter b) genannten sind Angehörige des japanischen Übergangsgebietes, unter c) sind die beiden untersuchten Spezies aus dem chilenischen Gebiet zusammengestellt, unter d) endlich sind 2 Arten aufgeführt, welche der australisch-neuseeländischen Flora angehören.

In allen diesen Tabellen wurde die Erfrierpunktsdifferenz pro Grad Außentemperaturänderung gleichfalls angegeben. Im Allgemeinen haben die Arten des Mittelmeergebietes eine um ein Minimum größere Reaktionsfähigkeit als die der übrigen warmen Übergangsgebiete (die höchste Ziffer wies das Phyllocladium von *Ruscus aculeatus* mit 0,015° Erfrierpunktsdifferenz pro Grad Außentemperaturdifferenz auf).

Tabelle VI.

Objekt	Gefrierpunkt	Erfrierpunkt bei Außentemperatur			Erfrierpunktsänderung pro ° Außentemperaturänderung
		+10°	+ 1°	+22°	
		a)			
Phillyrea latifolia	— 1,7°	— 3,30	— 3,40	— 3,10	0,009
Laurus nobilis	— 1,8	— 3,50	— 3,57	— 3,30	0,010
Viburnum tinus	— 1,7	— 4,00	— 4,10	— 3,80	0,010
Olea europaea	— 1,7	— 4,10	— 4,15	— 4,00	0,010
Nerium Oleander	— 1,8	— 5,00	— 5,12	— 4,80	0,012
Ruscus aculeatus	— 1,7	— 4,20	— 4,25	— 4,00	0,015
		b)			
Aucuba japonica	— 1,7	— 4,00	— 4,10	— 3,80	0,010
Evonymus japonica	— 1,8	— 4,00	— 4,10	— 3,80	0,010
		c)			
Drimys Winteri	— 1,6	— 4,10	— 4,15	— 4,00	0,009
Durvillea dependens	— 1,8	— 4,30	— 4,36	— 4,22	0,010
		d)			
Eucalyptus Globulus	— 1,7	— 3,35	?	— 3,20	0,009
Veronica spectabilis	— 1,7	— 4,80	— 4,90	— 4,60	0,010

Unsere, dem zentraleuropäischen Klima angehörenden Pflanzen zeigen, wie in Tabelle VII dargestellt ist, ohne alle Ausnahme die Eigenschaft, ihren Erfrierpunkt wesentlich zu variiren, wobei verschiedenen Abteilungen der Tabelle verschiedene prinzipiell zu scheidende Lebensweisen entsprechen.

Tabelle VII.

Erfrierpunktsänderung von Pflanzen gemäßigter Klimate.

Objekt	Erfrierpunkt I	Außentemperatur I	Erfrierpunkt II	Außentemperatur II	Erfrierpunktsänderung pro ° Außentemperaturänderung
	Ia. In Luft überwinternde Pflanzen:				
Ceratodon purpureus	— 17,10	+ 0	— 15,60	+ 20	0,075
Sphagnum acutifolium	— 16,20	+ 20	— 16,90	+ 8	0,060
Fegatella conica	— 14,50	+ 11	— 13,98	+ 20	0,055
Rhododendron ponticum	— 23,00	— 14	— 21,00	+ 20	0,060
Hedera Helix	— 23,30	— 6	— 22,00	+ 20	0,050
Helleborus niger	— 15,80	— 1	— 14,50	+ 20	0,062
Saxifraga tenella	— 14,25	+ 0	— 12,80	+ 20	0,070
Sempervivum Mettenianum	— 13,60	— 2	— 12,30	+ 20	0,060
Taxus baccata	— 24,95	+ 0	— 23,53	+ 20	0,070
Ilex Aquifolium	— 24,05	— 6	— 22,60	+ 20	0,054

Objekt	Erfrierpunkt I	Außentemperatur I	Gefrierpunkt II	Außentemperatur II	Erfrierpunktsänderung pro 1° Außentemperaturänderung
Ib. Unterirdisch überwinternde Organe.					
Allium Cepa	— 6,92	+ 5	— 5,39	+ 20	0,100
Daucus Carota	— 5,70	+ 8	— 4,50	+ 20	0,100
II. Keimpflanzen einjähriger Gewächse.					
Curcubita Pepo	— 2,26	+ 20	— 2,40	+ 6	0,010
Phaseolus vulgaris	— 2,30	+ 20	— 2,50	+ 6	0,013
III. Submerse Pflanzen.					
Hydrilla verticillata	— 5,00	+ 15	— 5,07	+ 3	0,006
Elodea canadensis	— 4,60	+ 15	— 4,83	+ 3	0,015
Cladophora spec.	— 20,60	+ 15	— 20,78	+ 3	0,013
Lemna trisulca	— 7,10	+ 6	— 7,16	+ 3	0,015

Eine gewisse Ordnung bezüglich der in Tabelle VII dargestellten Erfrierpunkte läßt sich nur bei den beiden untersuchten Reservestoffbehältern, sowie bei den untersuchten Keimpflanzen einjähriger Gewächse insofern feststellen, als bei beiden Kategorien die Erfrierpunkte relativ nur geringe Differenzen zeigen.

Bei den in der Luft überwinternden Gewächsen dagegen sind die Differenzen bezüglich des Erfrierpunktes teilweise sehr groß und ein Gleiches gilt von den submersen Pflanzen.

Anders aber stellt sich das Resultat heraus, wenn man nicht die *Lage* der Erfrierpunkte, sondern die *Fähigkeit der Erfrierpunktsänderung* ins Auge faßt. Bei dieser Betrachtung sei von den aufgeführten einjährigen Keimpflanzen abgesehen und zwar aus dem Grunde, weil sie ihrer ganzen Natur nach nicht die kalte Jahreszeit zu überdauern bestimmt sind und bei ihnen die Erfrierpunktsänderung eine so geringe ist, daß sie, worauf oben schon hingewiesen wurde, in gleicher Linie mit subtropischen Gewächsen stehen. Die Erfrierpunktsänderung dieser Pflanzen betrug bei beiden untersuchten Objekten pro Grad Außentemperaturänderung nur 0 0,10°.

Bei den untersuchten in der Luft überwinternden Pflanzenteilen ist erstens der absolute Erfrierpunkt ein sehr niedriger, zweitens aber auch die Erfrierpunktserniedrigung pro Grad Außentemperaturänderung sehr bedeutend und beträgt, wie meine Tabelle zeigt, 0,050° bis 0,075°.

Die untersuchten Moose schließen sich in jeder Beziehung den phanerogamen Formen an.

In den in Tabelle 7, Ia dargestellten Pflanzen werden wir Typobjekte einer Flora sehen, welche sich durch große Temperaturdifferenzen im Winter und Sommer auszeichnet, und welche zugleich ihre Blätter über den Winter bewahrt.

Besonders großes Interesse bietet die kleine Zahl der in Tabelle 7, III angeführten submersen Pflanzen.

Unter ihnen ragt zunächst die angeführte *Cladophora* durch ihren tief gelegenen Erfrierpunkt hervor und unterscheidet sich dadurch auffällig von den andern drei untersuchten Objekten. Betrachtet man aber die letzte Spalte der Tabelle, welche die Erfrierpunkts*änderung* pro Grad Außentemperaturänderung darstellt, so ergiebt sich eine auffällige Übereinstimmung mit den Pflanzen subtropischer Klimate (vgl. oben Tabelle 6).

Die Erfrierpunktsänderung submerser Gewächse schwankt pro Grad Außentemperaturänderung zwischen 0,006 *(Hydrilla verticillata)* und 0,015 *(Elodea canadensis, Lemna trisulca).*

Bei den submersen Gewächsen handelt es sich darum, daß das sie umgebende Wasser eine besonders hohe spezifische Temperatur besitzt und bekanntermaßen die Temperaturschwankungen der Luft, sowohl nach unten wie auch nach oben in nur sehr beschränktem Maße mitmacht.

Nicht die geographische Breite, unter welcher diese Gewächse leben, sondern die Temperatur des sie normaler Weise umgebenden Mediums ist auf die Ausbildung der Fähigkeit der Erfrierpunktsänderung von bestimmendem Einfluss.

Durch die Ergebnisse meiner Untersuchungen über die Erfrierpunktsänderung der Pflanzen bin ich dazu gezwungen, in diesen Variationen Eigenschaften zu sehen, deren Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen, unter denen die betreffenden Pflanzen leben, nicht verkannt werden können.

V.

Die Geschwindigkeit der Erfrierpunktsänderung.

Über die Geschwindigkeit, mit welcher bei der Kartoffel die Erfrierpunktsänderung eintritt, hat Apelt genaue Angaben gemacht. Er findet, daß diese pro Tag 0,030° beträgt.

Es war für mich von großem Interesse, in Beziehung auf diese Frage eine größere Anzahl von Pflanzen zu untersuchen.

Dabei zeigte sich, daß die Kartoffel für derartige Untersuchungen kein besonders günstiges Objekt war, und daß nicht nur bezüglich ihrer hochgelegenen Erfrierpunkte, sondern auch, was die langsame Variabilität des Erfrierpunktes betrifft, ihr der Charakter ihrer Heimat, eines warmen Übergangsklimas, heute noch anhängt.

Mit der Kartoffel möchte ich die Knolle von *Dahlia variabilis* in Parallele stellen, einer Pflanze, die gleichfalls einem Übergangsklima (Mexiko) entstammt.

Ich habe die Curven, welche die Erfrierpunktsänderung dieser Pflanze darstellen, als Figur 1 und 2 hier eingerückt; aus ihnen ergibt sich, daß die Dahlienknolle mit der Kartoffel die geringe Verschiebungsfähigkeit ihrer Erfrierpunkte, nämlich nur um 0,5° C, gemeinsam hat. Abweichend von der Kartoffel erreicht die Dahlienknolle aber ihren Anstieg rascher, wie sie bei Kaltlagerung auch rascher ihren Tiefpunkt erreicht.

Nach 2 Tagen war eine Hebung des Erfrierpunktes noch kaum zu beobachten, eine Eigenschaft, welche diese Knolle nicht nur mit der Kartoffel, sondern auch mit allen

anderen untersuchten unterirdischen Reservestoffbehältern gemeinsam hat. Hier handelt es sich wahrscheinlich um die bedeutende Mächtigkeit der Gewebemassen, welche nur langsam in ihrer Temperatur der Temperatur der Umgebung folgen.

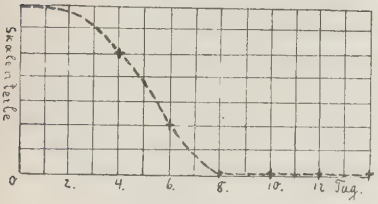

Fig. 1.
Erfrierpunktserhöhung

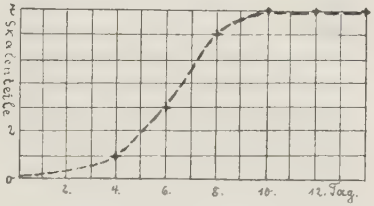

Fig. 2.
Erfrierpunktserniedrigung

der Dahlienknolle.

(Erfrierpunkt bei +5° Außentemperatur: — 2,80°, bei + 20° Außentemperatur: — 2,42°.)

Nach vier Tagen war eine Erhöhung um 1 Skalenteil = 0,0685° C eingetreten, in den zwei folgenden Tagen war die Verschiebung des Erfrierpunktes nach oben genau eben so groß wie bei der Kartoffel in derselben Zeit, zwischen dem 6. und 8. Tag der Untersuchung, dagegen war eine etwas grössere Beschleunigung zu beobachten, welche das Organ rasch bis zur Obergrenze seiner Erfrierpunktsvariation brachte.

Viel größer sind die Variationsänderungen, welche sich bei Untersuchungen bezüglich der Zwiebel von *Allium Cepa* (Figur 3 und 4) und der Rübenwurzel von *Daucus Carota* (Figur 5 und 6) ergaben.

Vom 4. bis zum 12. Untersuchungstage erfolgte bei beiden Objekten ein gradliniges, sehr rasches Ansteigen, welches bis zum Höchstpunkt der Erfrierpunktsvariation führte, und zwar betrug das Ansteigen der Zwiebel pro Tag durchschnittlich 3 Skalenteile = 0,210°, bei der Möhre durchschnittlich 2 Skalenteile = 0,137°.

Die Geschwindigkeit der Erfrierpunktsänderung war hier genau eben so groß wie beim Blattstiel von *Rhododen-*

dron ponticum (Figur 7 und 8), welches als Typus eines den Einflüssen der Temperaturschwankungen der Luft ausgesetzten Objekte untersucht wurde und sich in jeder Beziehung wie die Zwiebel verhielt.

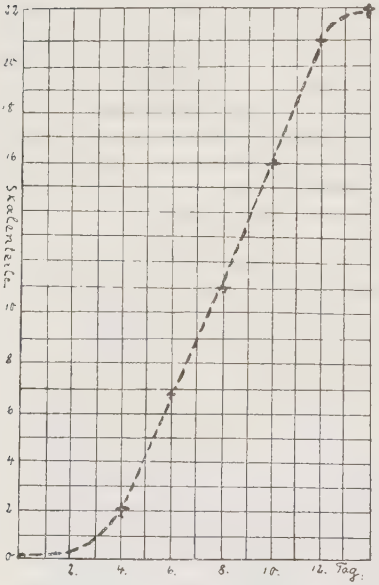

Fig. 3.
Erfrierpunktserhöhung

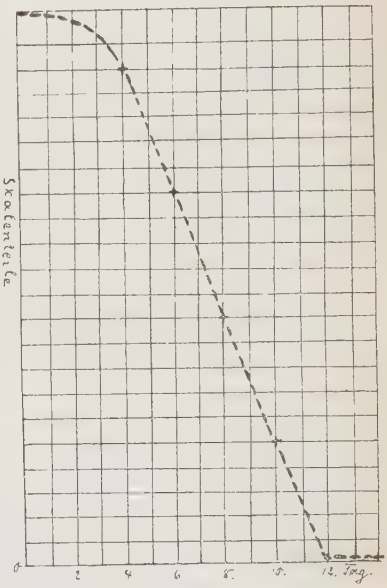

Fig. 4.
Erfrierpunktserniedrigung

der Zwiebel von Allium cepa.

(Erfrierpunkt bei + 5° Außentemperatur: — 6,92°, bei + 20° Außentemperatur: — 5,39°.)

Die Änderung in 5 Skalenteile erfolgte jeweils in zwei Tagen, sodaß hier pro Tag 2,5 Skalenteile = 0,171° Erhöhung beobachtet wurde. Der einzige Unterschied gegenüber der Zwiebel bestand nur darin, daß schon nach zwei Tagen eine deutliche Differenz gegen den Anfangstag zu beobachten war. Dieser Unterschied beruht offenbar darauf, daß die Blattstiele von *Rhododendron ponticum* infolge der geringen Mächtigkeit ihrer Gewebe sehr rasch den Außentemperaturen folgen.

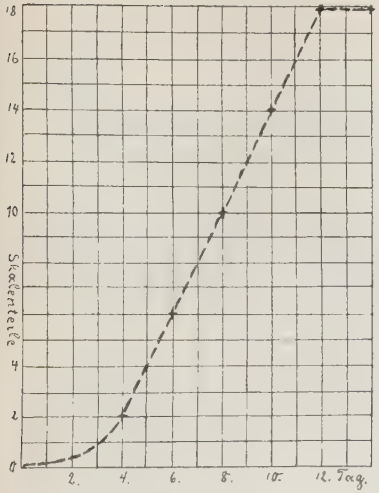

Fig. 5.
Erfrierpunktserhöhung

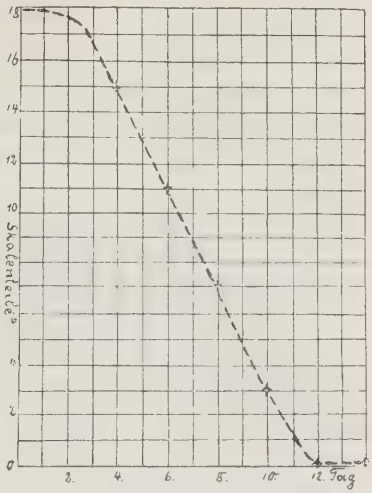

Fig. 6.
Erfrierpunktserniedrigung

von Daucus carota.
(Erfrierpunkt bei + 8° Außentemperatur: — 5,70°, bei + 20° Außentemperatur: — 4,50°.)

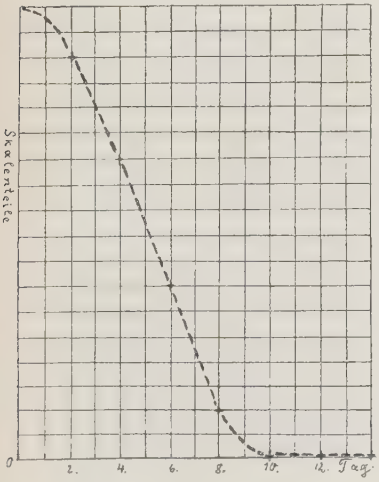

Fig. 7.
Erfrierpunktserhöhung

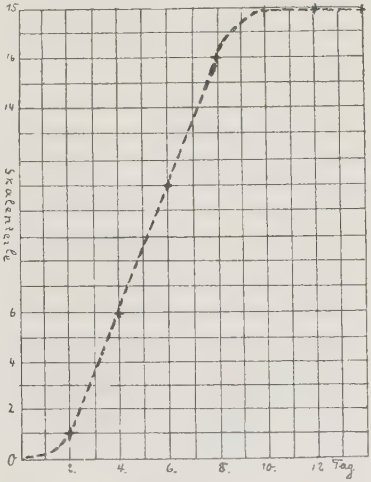

Fig. 8.
Erfrierpunktserniedrigung

von Rhododendron ponticum.
(Erfrierpunkt bei ± 0° Außentemperatur: — 22,24°, bei + 20° Außentemperatur: — 21,00°.)

VI.

Über die Ursachen der Erfrierpunktsdifferenz von jungen und älteren Geweben.

Die schon öfter in der früheren Literatur[1]) betonte Tatsache, daß sich junge Gewebe, besonders die Vegetationsspitzen, den älteren ausgebildeten Geweben in ihrer Kälteresistenz wesentlich überlegen zeigen, wurde von Apelt[2]) auch an der Kartoffel bestätigt.

Ich habe oben bereits dieser Frage andeutungsweise Aufmerksamkeit geschenkt und darauf hingewiesen, daß Apelt als Ursachen für dieses verschiedene Verhalten Ernährungsdifferenzen in hypothetischer Weise verantwortlich gemacht hat.

Bei der Kartoffel war diese Frage einer eingehenden Untersuchung nicht zugänglich; ich bin in der Lage, über wesentlich günstigere Objekte in dieser Beziehung zu berichten.

Oben bereits wurde darauf aufmerksam gemacht, daß bei den Tropenpflanzen keinerlei Schwankungen im Erfrierpunkt der Zellen vorhanden sind, mögen dieselben unter für die Pflanzen günstigen oder ungünstigen Verhältnissen gehalten werden, daß es speziell gleichgültig ist, ob der Pflanze die Assimilation ermöglicht wird oder nicht. Zu durchaus übereinstimmenden Resultaten bin ich bei allen übrigen Versuchen gekommen. Alle abgeschnittenen Zweige, Blätter, welche in den oben aufgeführten Tabellen enthalten sind, wurden im dunkeln Eiskasten gehalten, konnten dementsprechend nicht assimilieren und waren jedenfalls, was ihren Ernährungszustand betrifft, gegenüber den bei Zimmer- oder Warmhaustemperatur gehaltenen gleichartigen Objekten im Nachteil.

[1]) Noll: Über frostharte Knospenvariationen. Landw. Jahrb. XIV. 1885, S. 707—712. Göppert: l. c. S. 96 ff.

[2]) Apelt: l. c. S. 48—53.

Trotzdem zeigen diese dunkel und kalt gelagerten Objekte die Erfrierpunktserniedrigung; diese kann nicht durch bessere Ernährung in diesem Falle erklärt werden.

Um aber die Angelegenheit in unzweideutiger Weise nachzuprüfen, habe ich die Zwiebel von *Allium Cepa* gewählt und hier folgenden Versuch angestellt: Eine grosse Küchenzwiebel wurde in drei gleiche Teile zerlegt; zugleich wurde der Zwiebelboden entfernt und auf diese Weise die Kommunikation zwischen den Zwiebelschuppen unterbrochen.

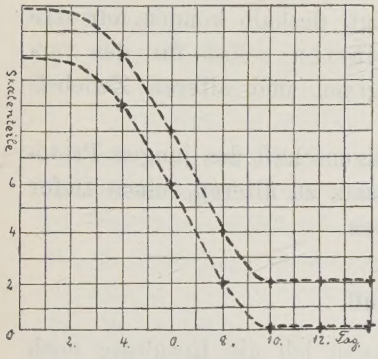

Fig. 9.
Erfrierpunktserhöhung

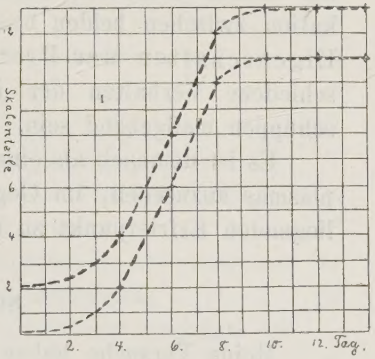

Fig. 10.
Erfrierpunktserniedrigung

eines älteren und jüngeren Zwiebelblattes von Allium Cepa.

(Erfrierpunkt des älteren Zwiebelblattes bei + 12° Außentemperatur: — 6,22°. bei + 20° Außentemperatur: — 5,47°; Erfrierpunkt des jüngeren Zwiebelblattes bei + 12° Außentemperatur: — 6,36°, bei + 20° Außentemperatur: — 5,61°.)

Dadurch wurde den jüngeren embryonalen Partien die Möglichkeit genommen, sich auf Kosten der älteren mit Nahrung zu versehen und die bei Beginn des Versuches bestehenden relativen Nahrungsverhältnisse der jungen und älteren Teile während des ganzen Versuches (zehn Tage) fixiert.

Meine Figuren 9 und 10 geben die Resultate in Kurvenform an; sie zeigen, daß der Verlauf der Erfrierpunkte dauernd ein gleicher ist, daß dementsprechend die tiefere

Lagerung der für die inneren Zwiebelblätter gefundenen Kurve nicht darauf beruhen kann, daß die Protoplasten ihrer Zellen besser ernährt sind als die der äußeren Zwiebelblätter. Die bei der Kartoffel bestehende Fehlerquelle des Versuches, daß hier durch die kalte Lagerung eine Umwandlung der Stärke in Zucker stattfindet, ist bei der Zwiebel nicht vorhanden, weil hier die Stärke fehlt und alle Reserve-Kohlehydrate dauernd lösliche Form besitzen. Die Fehlerquelle, daß die jungen Partien sich auf Kosten der älteren ernähren, wurde durch Lösung der Kommunikation zwischen beiden beseitigt, deshalb können nur die Eigenschaften der Protoplasten selbst für das verschiedene Verhalten der jüngeren und älteren Zwiebelschuppen maßgebend sein.

Es ist demnach als eine Eigenschaft des jungen Protoplasmas anzusehen, im Gegensatz zu älteren, einen tiefer liegenden Erfrierpunkt zu haben.

Schluß.

Meine Versuche haben, wenn ich die Resultate noch einmal kurz skizzieren darf, ergeben, daß der Kältetodespunkt der Pflanzen weder von dem osmotischen Druck in den Zellen, noch von der Zellgröße abhängt, also durch gröbere mechanische Verhältnisse nicht bedingt wird, sondern daß es sich dabei um Verhältnisse handelt, welche in der Konstitution der Protoplasmas begründet sind, und daß der Erfrierpunkt unter dem Einfluß der Außentemperatur, die die Pflanze vor Einwirkung der tötenden Kälte angenommen hatte, verschoben wird und zwar bei den Pflanzen gemäßigter und kalter Klimate um ein Erhebliches, bei subtropischen weniger und bei tropischen gar nicht. Damit ist für den Kältetodespunkt, ebenso wie es bereits für den Hitzetodespunkt und Konzentrationspunkt der Nährlösung geschehen ist, erwiesen, daß auch dieser „Kardinalpunkt“ variierbar ist.

Inhaltsangabe.

Seite

Einleitung:

a) Grundlagen und Aufgaben der Untersuchungen . . . 1

b) Kurze Darstellung der Resultate 3

c) Technik der Untersuchungen 5

I. Über die verschiedenen Arten des Kältetodes 7

II. Die Abhängigkeit des Kältetodes vom Turgor der Zelle . . 9

III. Verhältnis von Zellgröße und Erfrierpunkt 18

IV. Die Abhängigkeit des Erfrierpunktes von der Außentemperatur 21

V. Die Geschwindigkeit der Erfrierpunktsänderung 32

VI. Über die Ursachen der Erfrierpunktsdifferenz von jungen und älteren Geweben 36

Schluß 38

Sonderdruck aus der Zeitschrift für Naturwissenschaften, Bd. 80, 1908.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Paul Richard Rein, zu Runstedt im Kreise Merseburg als Sohn des Gutsinspektors Louis Rein und dessen Ehefrau Marie geb. Söldner. Ich bin evangelischer Konfession. Ich besuchte das Königl. Domgymnasium zu Merseburg, das ich Ostern 1904 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Dann bezog ich zunächst die Universität Kiel und im Herbst 1904 die Universität Halle, um mich dem Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik zu widmen. Am 10. Juli 1907 bestand ich das Examen rigorosum.

Während meines Studiums habe ich Vorlesungen gehört und praktische Übungen mitgemacht bei den Herren Professoren und Dozenten:

Benecke, Brandt, Lenard, Lohmann, Martius, Nordhausen, Reinke, Staekel in Kiel und

Bauch, Brandes, Bremer, Brüel, Dorn, Ebbinghaus, Fries, Grenacher, Gutzmer, Holdefleiss, Klebs, Küster, Mez, Schulz, Scupin, Taschenberg, Vaihinger, Volhard, Wangerin, Wüst in Halle.

Allen diesen Herren, meinen hochverehrten Lehrern, sage ich an dieser Stelle meinen besten Dank.

Buchdruckerei Julius Klinkhardt, Leipzig.